

GUIDA ALLA SCELTA MIGLIORE

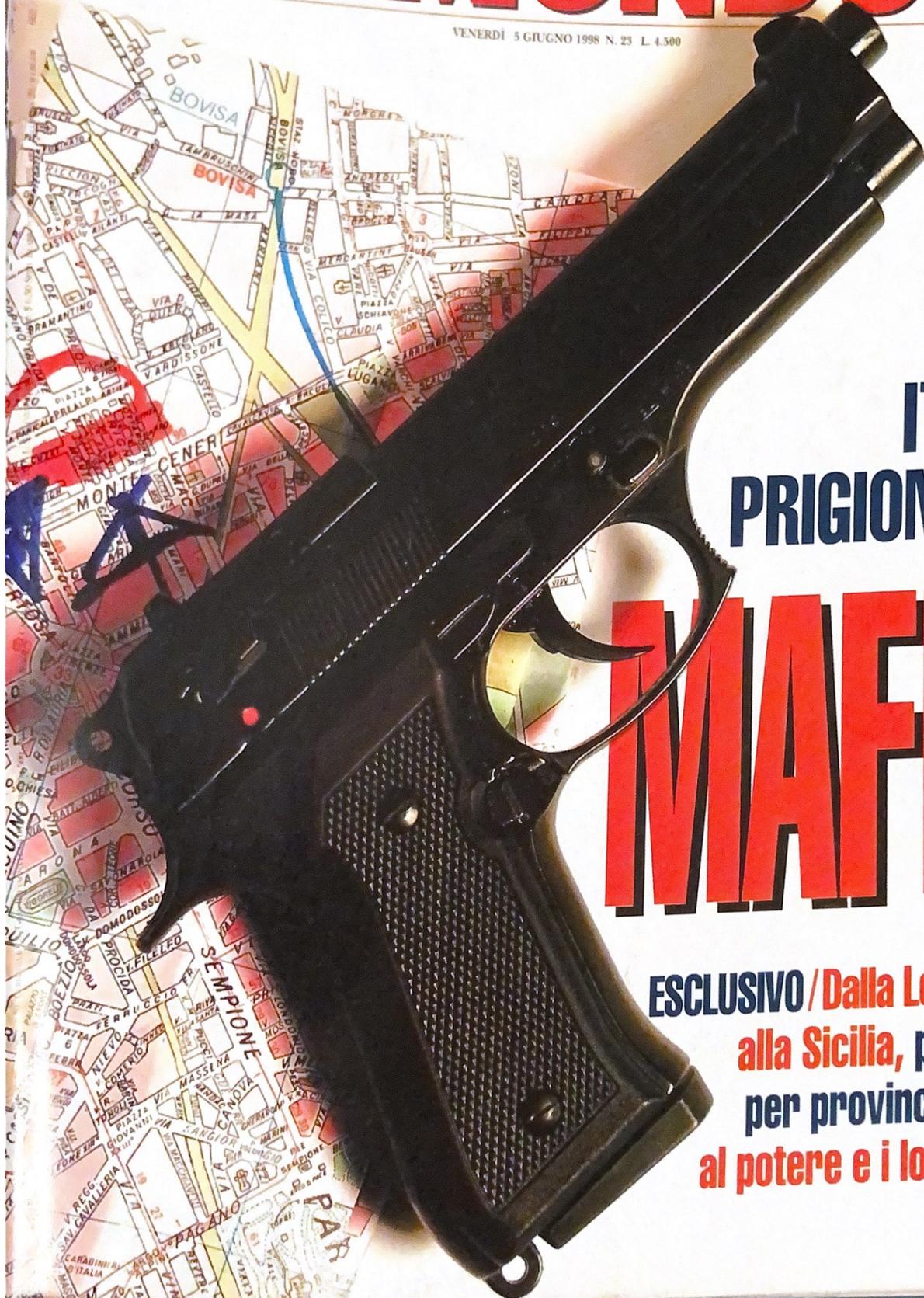


COMIT-BANCA ROMA  
L'ACCORDO È PIÙ VICINO

RCS

# IL MONDO

VENERDÌ 5 GIUGNO 1998 N. 23 L. 4.500



## ITALIA PRIGIONIERA

# MAFIA

**ESCLUSIVO / Dalla Lombardia  
alla Sicilia, provincia  
per provincia, i clan  
al potere e i loro affari**

SCIENZE E TECNOLOGIE

COSTRUZIONI/ I PONTI SOSPESI DI NUOVA GENERAZIONE

# CAMPATI IN ARIA

*Materiali che si riparano da soli. Tecniche per compensare le oscillazioni dei terremoti. Linee aerodinamiche contro l'effetto vento. In futuro...*

di Marta Cerù e Simona Vigna

*I possibili grandi collegamenti tra la terraferma e isole o penisole in Europa. Una struttura collegherà anche la Spagna all'Africa?*



**P**aolo Costa, ministro dei Lavori pubblici, ha messo la sua firma a fine gennaio, ma il documento è rimasto segreto fino a pochi giorni fa. Verificate infatti le ipotesi economiche, finanziarie e di traffico del progetto del ponte sullo Stretto di Messina, la relazione conclude che l'opera è inutile e non redditizia. Il ponte, insomma, non s'ha da fare.

È solo l'ultima puntata in ordine di tempo, e certo non quella definitiva in questa storia che dura da decenni suscitando appassionati confronti. La decisione del ministro non significa, però, che il progetto sia tecnicamente irrealizzabile. La fine di questo millennio sembra infatti destinata a passare alla storia come quella dei ponti avveniristici. Soluzioni innovative nei progetti e materiali nuovi hanno reso possibile ciò che sembrava impensabile. E così il 29 marzo il Portogallo ha inaugurato il ponte sull'estuario del fiume Tago. Il 5 aprile in Giappone, vicino a Kobe, epicentro dell'ultimo terremoto, è stato inaugurato l'Akashi Kaikjio.

Il 14 giugno sarà inaugurato il Great belt che unisce Copenaghen con la Danimarca occidentale. E presto sarà terminato anche lo Storebaelt east bridge che va in direzione dello Jutland unendo la Germania. A questi ponti famosi si aggiungono quelli ancora in costruzione, come l'Oresund che a partire dal 2000 consentirà di passare dalla Norvegia alla Svezia e collegherà Oslo a Malmoe. E quelli di cui per ora c'è solo il progetto: il ponte di Gibilterra, che deve collegare la Spagna all'Africa, e quello di 80 chilometri tra la Russia e l'Alaska. Insomma, l'automobilista dell'anno 2010 andrà dalla terra dei lapponi, passando attraverso il cuore d'Europa, fino all'Africa, senza mai dover mettere la propria auto su un traghetto.

**Rischi.** Questi nuovi ponti appartengono quasi tutti alla classe dei ponti sospesi, che superano fiumi o bracci di mare in un solo balzo. Ma più lunga è la campata sospesa del ponte, e più alto è il rischio di instabilità do-

vuto ai movimenti di torsione e di flessione per le forze impresse dai venti.

Questi ponti sono realizzati con due torri poste sulla terraferma ai lati del braccio d'acqua da superare. La loro altezza dipende dalla distanza da superare. Nel progetto dello Stretto, per esempio, erano di 376 metri, quasi quanto i twins del World trade center di Manhattan, e se fossero costruite in acciaio peserebbero circa cinquantamila tonnellate. Queste torri si basano su grandi fondamenta nel terreno e da esse si dipartono due coppie di cavi in acciaio, di diametro che può superare il metro (per Messina la previsione era di 1,24 metri), che formano un grande arco per tutta la lunghezza del ponte. Ogni cavo è formato da decine di migliaia di fili (44.352 fili previsti per il ponte di Messina) del diametro di qualche millimetro che vengono tessuti in fase di costruzione, direttamente sul posto.

Da questi cavi, a intervalli di circa 30 metri, si dipartono delle funi verticali, chiamate pendini, che reggono le travi di sostegno della struttura dove scorre il traffico, chiamata impalcato.

**Flessibile.** Questo progetto è simile a quello del Golden Gate di San Francisco, realizzato nel 1937, ma la luce centrale, cioè la distanza tra le torri, è di soli 1.280 metri e l'altezza dal pelo dell'acqua è di 8 metri. L'impalcato di questo ponte è a struttura reticolare, quindi in parte flessibile, concepito per opporsi al vento e alle altre sollecitazioni con l'inerzia. Questa stessa struttura è stata copiata per costruire l'Akashi Kaikjio giapponese, nel quale però gli ingegneri hanno esasperato le dimensioni toccando il massimo della luce concessa da questo tipo di struttura: 1.990 metri per un'altezza di 14 metri. Proprio per la sua flessibilità, però, un ponte di questo genere non può essere

*Un grande ponte sospeso in costruzione.*

*Le alte torri sono collegate dai cavi in acciaio che sostengono l'impalcato calpestabile del ponte*

## QUEL TUBO D'ARCHIMEDE

Un progetto di attraversamento dello stretto di Messina, detto tubo d'Archimede e presto accantonato in Italia, è stato adottato dai norvegesi, interessati a collegare il fiordo di Hoogs, e dai cinesi per unire l'isola di Dinghai nell'arcipelago di Zhoushan. È un tunnel sospeso sott'acqua che, per contrastare la spinta di Archimede, che tende a portarlo a galla, richiede una serie di cavi ancorati sul fondale. Il tunnel dei cinesi dovrebbe essere lungo 3.050 metri, ed essere sospeso a 40 metri di profondità per consentire la navigazione in superficie. Costa però tre volte più di un ponte e i tempi di costruzione sono due volte e mezzo più lunghi.



utilizzato per luci che superano i 2.000 metri e dove le fluttuazioni della struttura sotto la spinta del vento sarebbero eccessive.

Si è arrivati così a una seconda generazione di ponti, nata nel 1981 con l'Humber bridge di 1.410 metri di campata centrale. L'innovazione è nell'impalcato: non è più a griglia, ma a cassone pieno. Più rigido quindi, ma la forma aerodinamica gli consente di non opporre resistenza al vento. Questa tecnica è usata anche per lo Storebaelt, 65 metri d'altezza e luce di 1.624 metri.

Per superare però distanze di oltre 2.000 metri di luce era necessaria un'altra modifica, quella prevista dal progetto del ponte sullo Stretto. Messo a punto da William Brown, massimo esperto di ponti sospesi e già progettista dell'Humber e dello Storebaelt, il progetto dello Stretto, anche se non sarà mai realizzato, getta le basi dei ponti di terza generazione. L'impalcato non è più un unico cassone, ma è diviso in tre elementi alari, a cassone, intervallati da un reticolato che rende la struttura insieme rigida ed elastica, esasperandone l'aerodinamicità.

Diverso dai ponti sospesi è invece il Vasco de Gama, di Lisbona, che appartiene alla categoria dei ponti strallati. Il nome viene da srallo, cioè dal tipo di cavi in acciaio che servono per vincolare al terreno una struttura che si sviluppa verticalmente. In questo caso, infatti, anziché avere

cavi in sospensione, al quale fissare i pendini per sorreggere l'impalcato, si hanno diversi stralli diagonali che dalle torri sono tesi a sostenere direttamente l'impalcato.

Questo tipo di soluzione non può essere applicata per grandi luci: il Vasco de Gama, pur estendendosi con tutti i collega-



menti per 17 chilometri di lunghezza al di sopra del Tago, ha una luce centrale che non raggiunge i mille metri.

**Leggerezza.** Rivoluzionati sono pure i materiali. «Nella costruzione dei ponti, il futuro del ventunesimo secolo è oggi», dice Eugene Figg, presidente della Figg Engineering, un miliardo di dollari di fatturato solo in progetti di ponti sospesi. «Con la tecnologia di oggi si costruiscono ponti quattro volte più lunghi di quelli del secolo scorso». Un futuro dalle infinite possibilità tecnologiche. I ponti progettati oggi usano materiali innovativi come quelli degli aerei invisibili. Sono arricchiti con sensori ultrasofisticati che rilevano un ghiacciolo o una piccola crepa.

**Il primo arco.** Da quando, 300 anni prima di Cristo, gli Etruschi insegnarono ai Romani la statica dell'arco e la chiave di volta, fino al megaponte giapponese, capace, come ha fatto, di reggere l'urto di terremoti di 8,5 gradi della scala Richter senza fare una «piega», di progressi ce ne sono stati parecchi.

Nel ponte sospeso domina l'acciaio. Abbinato ad altri materiali. Sono i cosiddetti materiali compositi. Gli stessi già usati per costruire gli aerei invisibili ai radar della difesa americana. Sono chiamati anche polimeri compositi perché possono incorporare, secondo le esigenze di costru-

**«CON LA TECNOLOGIA  
DISPONIBILE OGGI  
SI COSTRUISCONO PONTI  
QUATTRO VOLTE PIÙ LUNGI  
DEL SECOLO SCORSO»**

zione, fibre di carbonio e di aramide, grafite, resine epossidiche e ceramiche. Queste sostanze cambiano le caratteristiche del materiale rendendolo più resistente o flessibile, o meno sensibile alla corrosione.

Potrebbero anche estendere la vita dei ponti già costruiti: una prospettiva alllettante. Negli Stati Uniti il 42% delle infrastrutture sospese è da riparare e il costo previsto è di 50 miliardi di dollari, circa 90 mila miliardi di lire. Anche in Italia, tra il 1993 e il 1995, le spese di restauro dei ponti senescenti sono state equivalenti ai fondi stanziati per la costruzione di ponti

nuovi. Secondo John Scalzi, direttore del programma di superstrutture della National science foundation, che al momento sta finanziando una quarantina di progetti di ricerca su questi materiali, i polimeri compositi saranno usati per costruire nuove strutture, ma anche per rafforzare opere già esistenti. «I laminati, per esempio, promettono molto bene nel settore del recupero di strutture sospese», dice Scalzi. «Funzionano un po' come un tessuto. Possono essere incollati o fatti aderire al cemento e all'acciaio per rinforzarli o impedire un ulteriore deterioramento». Rinforzi con rivestimenti di fibre di carbonio sono già stati utilizzati con successo per rendere antisismici i ponti californiani di vecchia data sopravvissuti al terremoto del 1989. «Durante un terremoto prima di tutto si sgretola il rivestimento di cemento del ponte, lasciando scoperto l'acciaio», spiega Freider Sieble, ingegnere strutturale all'Università della California di San Diego e uno dei massimi esperti internazionali di strutture in materiali compositi. «Poi, tocca al rinforzo metallico: appena si deforma, il cuore interno della struttura crolla. Le coperture di fibre di carbonio non solo prevengono lo sgretolamento del cemento di copertura, ma stabilizzano anche le strutture in cemento armato impedendone la torsione, e mantenendole intatte». Queste fibre di carbonio sono sottilissime pellicole avvol-

**UN GRUPPO DI POLIMERI  
COMPOSITI DIVENTA UN TESSUTO  
PROTETTIVO: FATTO ADERIRE  
A CEMENTO E ACCIAIO LI RINFORZA  
IMPEDENDONE  
IL DETERIORAMENTO**

genti da due a quattro volte più resistenti dell'acciaio.

**Antisismici.** Ma ci sono progressi anche nella tecnologia disponibile per i nuovi progetti. Uno dei modelli è Akashi Kaikyo, le cui fondamenta poggiano su una delle aree a più alto rischio di sisma al mondo. Ebbene, questo ponte è in grado di resistere a terremoti di 8,5 gradi della scala Richter, e lo ha dimostrato con l'ultimo evento. Questo nonostante ognuna delle due torri di soste-

## Grandi ponti nel mondo

	DATI GENERALI		CAVI		TORRI		Immagine		
	lung. totale (m)	lung. ponte sospeso (m)	N. cavi stradali	N. torri ferrovie	altezza (m)	peso 1 torre acciaio (t)			
<b>MESSINA</b> Italia (in prog.)	3300	3660	8+4	2	121	4	376	46000	
<b>AKASHI KAIKYO</b> Giappone (in cost.)	1900	3910	4+2	NO	110	2	300	35000	
<b>GREAT BELT</b> Danimarca (in cost.)	1624	2694	4+2	NO	85	2	254	calcestruzzo	
<b>HUMBER</b> Gran Bretagna (01)	1470	2228	4	NO	68	2	155	calcestruzzo	
<b>VERRAZZANO NARROWS</b> USA (04)	1295	2039	12	NO	91	4	192	10650	
<b>MIYAMI BISAN-SETO</b> Giappone (05)	1100	1648	4+2	2	106	2	165	9500	

Le alte torri dei ponti sospesi sono collegate da due coppie di cavi in acciaio. Da queste, a intervalli regolari, si dipartono funi verticali, i pendini, che sostengono il piano del traffico

gno dell'Akashi sia più alta di un grattacielo di 90 piani. Ogni torre è stata equipaggiata con venti strumenti indipendenti che controllano le vibrazioni. Se per il vento o per un sisma la struttura delle torri ondeggia, questi apparecchi, che sono in realtà simili a pendoli, compensano l'oscillazione. Per gli ingegneri californiani, alle prese con i regolari scossoni dovuti alla faglia di Sant'Andrea, i materiali compositi rappresentano al momento la soluzione più promettente. Specie se le campate non hanno luci da Guinness dei primati. «In questi casi, invece del tradizionale corpo in cemento o acciaio, si potrebbero usare sezioni composite, molto più leggere», spiega Joseph Plenick, docente di ingegneria civile alla California state university. «Con un piano più leggero le colonne non devono essere esageratamente grosse e quindi, dal punto di vista sismico, anche i carichi sono molto più ridotti». I terremoti non sono la sola sfida per i progettisti di ponti. C'è anche l'usura del tempo: la corrosione, le temperature estreme, i forti venti e le conti-

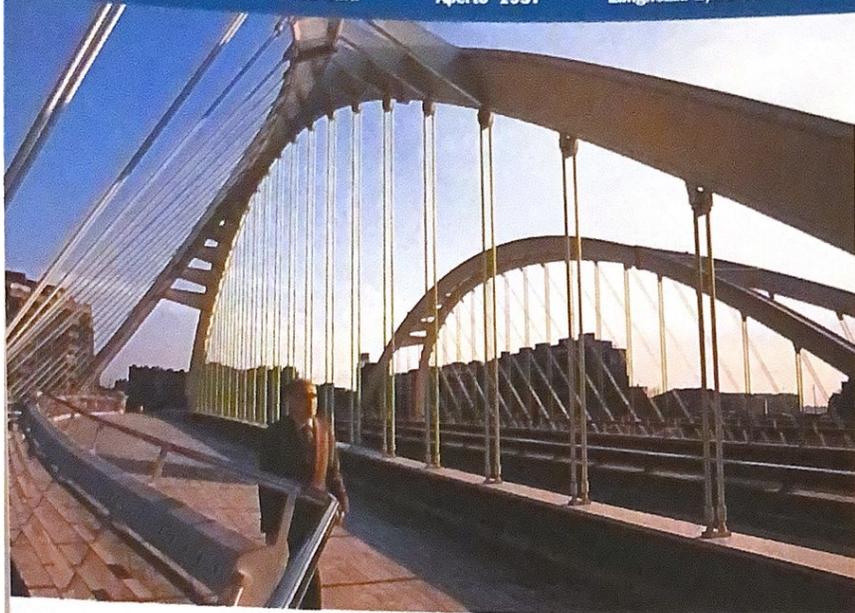
GOLDEN GATE

Stati Uniti

Aperto 1937

Lunghezza 2,2 chilometri

Distanza fra le torri 1.280 metri



## LÀ DOVE SOFFIA IL VENTO

Per simulare il comportamento di una struttura sotto l'azione del vento, sia che si tratti di un ponte sospeso sia che si tratti di un aereo in volo o di un'automobile, esistono le cosiddette camere a vento.

Ma nei due casi le condizioni da riprodurre sono diverse: da una parte si tratta di simulare il comportamento del vento che incontra la superficie terrestre, riproducendo un profilo con le relative turbolenze, dall'altra occorre ricreare le condizioni di vento veloce su un aereo in volo.

Come spiega Luca Ronchi, ingegnere del dipartimento di meccanica del Politecnico di Milano, «la galleria del vento progettata qui al Politecnico, già in co-

struzione presso il nuovo centro universitario di Bovisio, avrà entrambe le caratteristiche». Si tratta «di una camera stratigrafica per le prove civili, larga 14 metri e alta 4 metri, e di una



camera veloce per le prove di aeronautica o automobilismo della forma di un cubo con il lato di 4 metri: nella prima si potranno riprodurre venti dell'ordine di 15 metri al secondo, mentre nella seconda di 50 metri al secondo».

In futuro le prove su modellini di 14 metri

dei progetti dei ponti sospesi potranno essere eseguite direttamente in Italia.

Ci sono camere a vento veloce, come per esempio quella grande e versatile della Pininfarina

(tra l'altro servita per alcuni test sperimentali su sezioni dell'impalcato del ponte), o quella della Ferrari, o della Dallara.

Ma non esisteva ancora un apparato in grado di eseguire test su opere civili.

Inoltre, l'innovazione del progetto milanese sta nell'aver dotato la camera di due serie di ventilatori indipendenti, piuttosto che di un solo grande ventilatore. In questo modo sarà più facile generare il profilo di velocità stratolimita per il vento. (Marta Cerù)

## AL MOMENTO DELLA COSTRUZIONE SI INCORPORANO ALLE NUOVE STRUTTURE CENTINAIA DI SENSORI IN GRADO DI RIVELARE Istantaneamente LE SITUAZIONI CRITICHE E DI PERICOLO

nue sollecitazioni del traffico. Gli ingegneri dedicano sempre maggiori attenzioni al mantenimento di queste superstrutture. Alle Università di Carleton e di Calgary, in Canada, è partita un'indagine quinquennale che ha l'obiettivo di raccogliere i dati relativi al ponte della Confederation, uno dei più lunghi al mondo, aperto di recente sullo Stretto di Northumberland. Nel ponte, che attraversa acque ghiacciate per parte dell'anno, sono stati incorporati 950 sensori: 250 raccolgono informazioni a intervalli di un'ora e altri 700 rilevano 50 misurazioni diverse al secondo. Un computer, integrato nella struttura, e una rete a fibre ottiche portano i dati ai ricercatori nei laboratori, dove vengono analizzati e messi a disposizione dei progettisti. Questo progetto sperimentale durerà da cinque a quindici anni, e fornirà dati completi su tutte le variabili.

**Autodiagnosi.** Molti nuovi ponti sono dotati di sensori di controllo in tempo reale, ma ora i progettisti stanno mettendo a punto addirittura strutture per l'autodiagnosi dei danni e l'autoriparazione. «Sarà la routine per i ponti in materiali compositi», dice Scalzì. Ricercatori del Naval research laboratory americano, per esempio, hanno già sviluppato uno speciale cavo a fibre ottiche, che potrebbe diventare parte integrante delle fibre strutturali. Quando il cavo subisce un'alterazione nel suo carico termico o meccanico, la luce che vi scorre cambia frequenza. Un computer registra queste variazioni e consente agli addetti alla manutenzione di intervenire immediatamente sul punto esatto che richiede riparazioni. Altri progetti di ricerca valutano invece l'impiego, all'interno delle strutture portanti, di una rete di tubicini contenenti resine epossidiche. Un impatto abbastanza forte da ledere il ponte romperebbe anche i tubicini, facendo uscire la resina riparatrice.